

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-327453

(43) 公開日 平成 8 年 (1996) 12 月 13 日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 J	3/45		G 0 1 J	3/45
	9/02			9/02

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平7-130822

(22) 出願日 平成 7 年 (1995) 5 月 29 日

(71) 出願人 000001993

株式会社島津製作所

京都府京都市中京区西ノ京桑原町 1 番地

(72) 発明者 川田 勝

京都市中京区西ノ京桑原町 1 番地 株式会

社島津製作所三条工場内

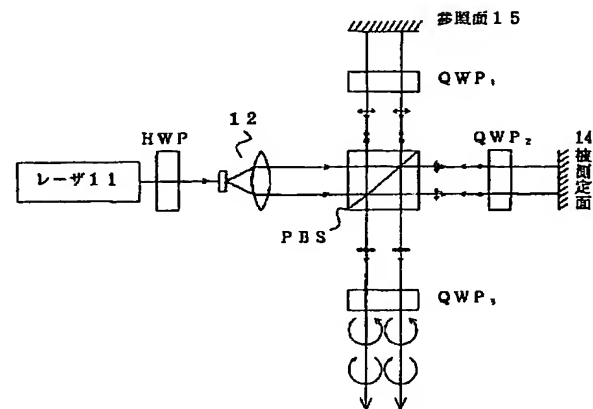
(74) 代理人 弁理士 西岡 義明

(54) 【発明の名称】 偏光干渉計

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 全体の光量を損失することなく干渉縞のコントラストを上げる偏光干渉計の提供。

【構成】 直線偏光を出力するレーザ光源 1 1 からの光はその直後に挿入された 1 / 2 波長板 HWP 及びレンズ系 1 2 を経て偏光ビームスプリッタ P B S で偏光方向が互いに直交する二つの直線偏光に分けられ、一方は参照光として参照面 1 5 を照射し、他方は試料光として被測定面 (サンプル) 1 4 に照射して、再び偏光ビームスプリッタ P B S で一つの光束に合成する。このとき、x 軸、y 軸から 4 5 ° の方向に設定された 1 / 4 波長板 Q W P 3 を透過させて二つの直線偏光を夫々左右の円偏光に変換する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入射光を振動方向が互いに直交する二つの直線偏光に分割して一方を参照光とし、他方をサンプルを経た試料光とした後、再び合成し1/4波長板、偏光子の順に透過させることによって干渉縞を形成し、サンプルの二次元的な位相情報を取り出す偏光干渉計において、

干渉計に入る前の入射光を直線偏光とし、この直線偏光の偏光面を光軸の回りに任意の方向に回転させる手段を具備したことを特徴とする偏光干渉計。

【請求項2】 干渉計に入る前の入射光を直線偏光とし、更に光軸の回りに回転可能な1/2波長板を通すことにより、入射光の直線偏光の偏光面を光軸の回りに任意の方向に回転させるようにしたことを特徴とする請求項1記載の偏光干渉計。

【請求項3】 直線偏光を発生する光源を備え、その光源を光軸の回りに回転させることにより、入射光を直線偏光とし、この直線偏光の偏光面を光軸の回りに任意の方向に回転させるようにしたことを特徴とする請求項1記載の偏光干渉計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は偏光干渉計を用いて光の位相のズレを高精度かつ高速に検出、計算して、超精密加工製品等の面形状、温度分布、屈折率分布、プラズマ密度等を実時間で測定する二次元情報取得装置の特に入 *

$$I = (a^2 + b^2) / 2 + ab \sin(\phi x - \phi y + 2\theta) \quad (1)$$

となる。偏光子P1～P3の方向 θ を0°、45°、90°に夫々設定すると、透過光強度は夫々

$$I1 = (a^2 + b^2) / 2 + ab \sin(\phi x - \phi y) \quad (2)$$

$$I2 = (a^2 + b^2) / 2 + ab \cos(\phi x - \phi y) \quad (3)$$

$$I3 = (a^2 + b^2) / 2 - ab \sin(\phi x - \phi y) \quad (4)$$

となるので、参照光と試料光の間の位相差は

$$\phi x - \phi y = \tan^{-1} \{ (I1 - I2) / (I2 - I3) \} + \pi / 4 \quad (5)$$

で与えられる。即ち、位相が90°ずつ異なる三つの干渉縞I1、I2、I3を周波数の同期したテレビカメラTV1～TV3で同時に撮影し、信号処理装置17でそれらのビデオ信号の差信号を求めた後に逆正接を求めることによって、屈折率分布、温度分布やプラズマ密度等の被測定面(物)の二次元的な位相分布を実時間で測定することができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 (5)式から明らかなように、 $\phi x - \phi y$ は参照光と試料光の振幅a、bに依存しないので、原理的には二光束の強度比がアンバランスでも位相分布を測定することができる。しかし、実際には、例えば、参照光の強度が試料光の強度より著しく強かったり($a < b$)、或いはその逆の場合($a > b$)には、(1)式から明らかなように、正弦波状の干渉縞が強いバックグラウンド($a^2 + b^2 / 2$ の中に埋

* 射光学系部分に関する。

【0-0-0-2】

【従来の技術】 屈折率分布や温度分布、プラズマ密度等のように時間的に変化する物理量の二次元分布を実時間で測定する装置として干渉計を利用した二次元情報取得装置が提案されている(特開平2-287107号公報参照)。これは、例えば、サンプル表面の様子を観察したいときには、第5図に示すようなマイケルソン干渉計の配置をとり、サンプル内部の様子を観察したいときには、第6図に示すようなマッハツェンダー干渉計の配置をとって、レーザ光源11からの光をレンズ系12を経て偏光ビームスプリッタPBSで偏光方向が互いに直交する二つの直線偏光に分け一方は参照光とし、他方は試料光として被測定面(物)14(19)に照射し、再び偏光ビームスプリッタPBSで一つの光束にする。しかし、このままでは参照光と試料光の偏光面は互いに直交しているため、干渉は起こさない。そこで、x軸、y軸から45°の方向に設定された1/4波長板QWP3、WP4を透過させて二つの直線偏光を夫々左右の円偏光に変換し、更に偏光子P1～P3を通すことによって干渉縞I1～I3を作る。偏光ビームスプリッタPBSのP偏光方向及びS偏光方向を夫々x軸、y軸にとり、試料光(P偏光;x方向)の振幅と位相を夫々a、 ϕx 、参照光(S偏光;y方向)の振幅と位相を夫々b、 ϕy とすると、透過軸方向を θ に設定した偏光子を透過した光の透過光強度は

$$I = (a^2 + b^2) / 2 + ab \sin(\phi x - \phi y + 2\theta) \quad (1)$$

となる。偏光子P1～P3の方向 θ を0°、45°、90°に夫々設定すると、透過光強度は夫々

$$I1 = (a^2 + b^2) / 2 + ab \sin(\phi x - \phi y) \quad (2)$$

$$I2 = (a^2 + b^2) / 2 + ab \cos(\phi x - \phi y) \quad (3)$$

$$I3 = (a^2 + b^2) / 2 - ab \sin(\phi x - \phi y) \quad (4)$$

となるので、参照光と試料光の間の位相差は

$$\phi x - \phi y = \tan^{-1} \{ (I1 - I2) / (I2 - I3) \} + \pi / 4 \quad (5)$$

で与えられる。即ち、位相が90°ずつ異なる三つの干渉縞I1、I2、I3を周波数の同期したテレビカメラTV1～TV3で同時に撮影し、信号処理装置17でそれらのビデオ信号の差信号を求めた後に逆正接を求めることによって、屈折率分布、温度分布やプラズマ密度等の被測定面(物)の二次元的な位相分布を実時間で測定することができる。

【0004】 普通、入射光を偏光分割する際に、参照鏡に進む光と試料側へ進む光の強度比が1対1になるように光学部品の設定を行うが、試料光からの出力光強度が低い場合にこのようなトラブルが発生しやすく、マイケルソン干渉計では反射率の低いサンプルの表面形状を測定する場合やマッハツェンダー干渉計では透過率の低いサンプルの位相分布を測定する場合に特に顕著である。

【0005】 このような障害を克服するために、強度の強い方の光路(通常、参照光側)に強度差の程度に見合った減光フィルタND(第6図参照)を挿入し、二光束の強度バランスをとり、コントラストの低下を防止することも可能である。しかし、この方法では全体の光量を損失することになり、光源の強度を上げられない場合に

は検出器の感度を上げて暗くて、演算処理ができないという事態も招いていた。

【0006】本発明は、上記のような問題点に鑑み、全体の光量を損失することなく干渉縞のコントラストを上げることができる偏光干渉計を得ることを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の偏光干渉計においては、入射光を振動方向が互いに直交する二つの直線偏光に分割して一方を参照光とし、他方をサンプルを経た試料光とした後、再び合成し1/4波長板、偏光子の順に透過させることによって干渉縞を形成し、サンプルの二次元的な位相情報を取り出す偏光干渉計であって、干渉計に入る前の入射光を直線偏光とし、この直線偏光の偏光面を光軸の回りに任意の方向に回転させる手段を具備したものである。

【0008】干渉計に入る前の入射光を直線偏光とするためには、偏光状態がもともと直線偏光であるような光源を用いてもよく、また、ランダム偏光の光源を用いてその直後に偏光子を設置するようにしてもよいし、円偏光の光を1/4波長板を用いて直線偏光に変換することも可能である。また、直線偏光の偏光面を光軸の回りに任意の方向に回転させる手段としては光軸の回りに回転*

$$\alpha = \tan^{-1} (a/b)$$

を満足する角度に設定すればよい。他方、1/2波長板を用いる場合では、入射直線偏光の振動方向(角 α)は固定したままで1/2波長板の進相軸 f の方向(角 β)を回転させることによって振動方向を回転調整する。直線偏光の振動方向は1/2波長板の進相軸 f に関して対*

$$\beta = \{\alpha + \tan^{-1} (a/b)\} / 2$$

を満足する方位に1/2波長板を回転調整すると干渉縞のコントラストは最大になる。

【0012】

【実施例】以下、本発明の偏光干渉計について図面を参照して説明するに、第1図において、この実施例は反射光でサンプルの表面形状を測定するときに用いられるマイケルソン干渉計に本発明を適用した例である。光源には直線偏光を出力するレーザ11を用い、同レーザ光源11からの光はその直後に挿入され、(7)式を満足する方位に回転調整された1/2波長板HWP及びレンズ系12を経て偏光ビームスプリッタPBSで偏光方向が互いに直交する二つの直線偏光に分けられ、一方は参照光として参照面15を照射し、他方は試料光として被測定面(サンプル)14に照射して、再び偏光ビームスプリッタPBSで一つの光束に合成する。このままでは参照光と試料光の偏光面は互いに直交しているため、干渉は起こさないので、 x 軸、 y 軸から45°の方向に設定された1/4波長板QWP3を透過させて二つの直線偏光を夫々左右の円偏光に変換する。しかる後、第5図に示されるように、偏光波面分割光学系16で偏光波面を

*可能な1/2波長板を設置してもよく、直線偏光を発生する光源そのものを光軸の回りに回転させてもよい。

【0009】更に、干渉計としては、マイケルソン干渉計、マッハツェンダー干渉計の他、入射光を参照光と試料光に二光束に偏光分割して試料の位相分布を測定することができるものであれば各種の干渉計が適用できることはいうまでもなく、光源としてもレーザに限定されず、Naランプや水銀灯、ハロゲンランプを用いることも可能である。また、位相子も180°の位相差を与えることができるものであれば、1/2波長板の他にバビネソレイユ補償板、キングプリズム、フレネルロム等を用いることもできる。

【0010】

【作用】上記のように構成された偏光干渉計における入射光の偏光状態を第4図により説明する。例えば、試料光側と参照光側に一对一の振幅比で光を分配して入力しても出力光が反射率や透過率の違いから $a:b$ の振幅比で出てくるのであれば、予め入力する光の振幅比を $b:a$ に調整しておくことにより出力光の振幅比を一对一とすることができる。

【0011】直線偏光を発生する光源を直接光軸の回りに回転させる場合には、入射直線偏光 E_0 の振動方向は

(6)

※称な方向に変換されるので、1/2波長板透過後の振動方向 E_0' は x 軸から角 $(2\beta - \alpha)$ だけ傾いた方向になる。これが

$$\tan(2\beta - \alpha) = a/b$$

即ち

(7)

三つに分割し、更に偏光子 $P1 \sim P3$ を通すことによって干渉縞 $I1 \sim I3$ を作る。これら位相が90°ずつ異なる三つの干渉縞 $I1$ 、 $I2$ 、 $I3$ を周波数の同期したテレビカメラTV1~TV3で同時に撮影し、信号処理装置17でそれらのビデオ信号の差信号を求めた後に逆正接を求めることによって、被測定面14の二次元的な位相分布を実時間で測定し、その測定結果を表示装置18に表示する。

【0013】他の実施例を第2図により説明するに、この実施例は透過光でサンプルの内部の位相分布を測定する際に用いられるマッハツェンダー干渉計に本発明を適用した例である。光源にはランダム偏光を出力するレーザ13を用い、その直後に偏光子 $P4$ を挿入して直線偏光とし、続いて1/2波長板HWPを挿入し、(7)式を満足する方位に回転調整する。レーザ光源13からの光は、これら偏光子 $P4$ 、1/2波長板HWP及びレンズ系12を経て偏光ビームスプリッタPBSで偏光方向が互いに直交する二つの直線偏光に分けられ、一方は参照光とし、他方は試料光として透明物体(サンプル)19に照射して、再び偏光ビームスプリッタPBSで一

5

の光束に合成し、 $1/4$ 波長板QWP4を透過させ、しかる後、第6図に示されるように、偏光波面分割光学系16で偏光波面を三つに分割し、更に偏光子P1～P3を通すことによって干渉縞I1～I3を作る。これら位相が 90° ずつ異なる三つの干渉縞I1、I2、I3を周波数の同期したテレビカメラTV1～TV3で同時に撮影し、信号処理装置17でそれらのビデオ信号の差信号を求めた後に逆正接を求めることによって、透明物体(サンプル)19の内部の二次元的な位相分布を実時間で測定し、その測定結果を表示装置18に表示する。

【0014】さらに他の実施例を第3図により説明するに、この実施例は第1図実施例において、光源として直線偏光を出力するレーザ11を用い、そのレーザ11を光軸の回りに回転させる機構20を具備し、レーザ11本体を(6)式を満足する方位に回転調整したもので、その他の構成は第1図実施例と同様である。

【0015】

【発明の効果】本発明は以上説明したように構成されているので、入射直線偏光の偏光面を光軸の回りに任意の方向に回転させることによって参照側と試料側に分けられる光の割合を連続的に変えて最適の光量比に設定でき、干渉縞のコントラストを向上させることができる。従来でも透過率が連続的に変化する減光フィルタを用いて最適の透過率に設定する方法があったが、これではサンプルの二次元的な観察領域の全面にわたり均一な光量に設定することができず、広い領域を観察する場合には干渉縞のムラが生じ、特定の場所にコントラストを合わせると他の場所のコントラストが低下するといったジレンマに陥っていた。しかるに、本発明では観察領域全面にわたり均一に光量の調整ができ、コントラストの不均一は全くおこらない。勿論、本発明では減光フィルタを用いないので光量を損失することがなく、光源からの光は全て用いることができる。従って、小さな出力の光源を用いても画像は明るく、測定精度は向上し、測定光学

6

系の小型化も可能になる。更に、本発明では、参照光側、試料光側の一方だけに光を供給することが自由できるので、光路の状態を点検する際にも都合がよく、干渉計の光学調整のときにも便利であるという副次的効果もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例装置で、 $1/2$ 波長板を用いた光学系要部を示す図である。

【図2】本発明の他の実施例装置で、偏光子と $1/2$ 波長板を用いた光学系要部を示す図である。

【図3】本発明の更に他の実施例装置で、直線偏光を発生するレーザ光源を直接回転させる機構を具備した光学系要部を示す図である。

【図4】本発明における偏光方位の状態を示す図である。

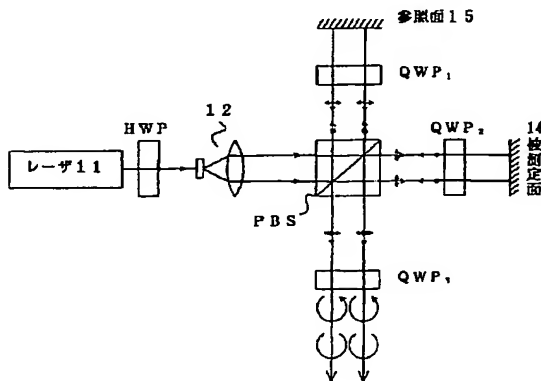
【図5】従来の二次元情報取得装置で、偏光マイケルソン干渉計を用いた面形状測定システムを示す構成図である。

【図6】従来の二次元情報取得装置で、偏光マッハツェンダー干渉計を用いた透明物体測定システムを示す構成図である。

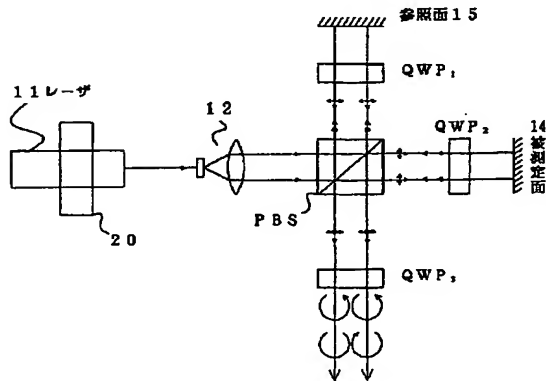
【符号の説明】

11…レーザ光源(直線偏光)	12…レンズ系
13…レーザ光源(ランダム偏光)	14…被測定面
15…参照面	16…偏光波面分割光学系
17…信号処理装置	18…表示装置
19…透明物体	20…レーザ回転機構
PBS…偏光ビームスプリッタ	QWP1～QWP4… $1/4$ 波長板
HWP… $1/2$ 波長板	P1～P4…偏光子
TV1～TV3…テレビカメラ	I1～I3…干渉縞

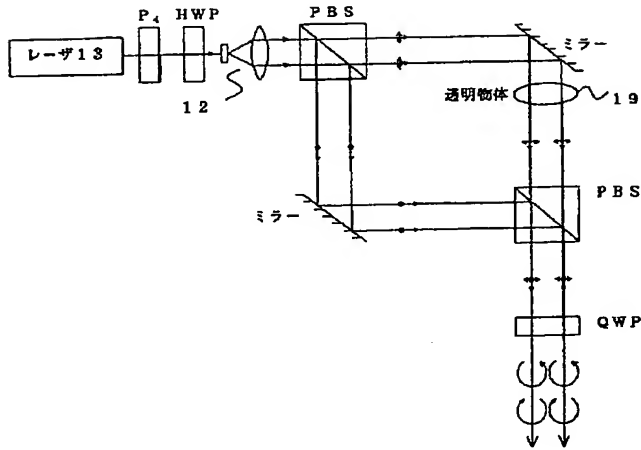
【図1】



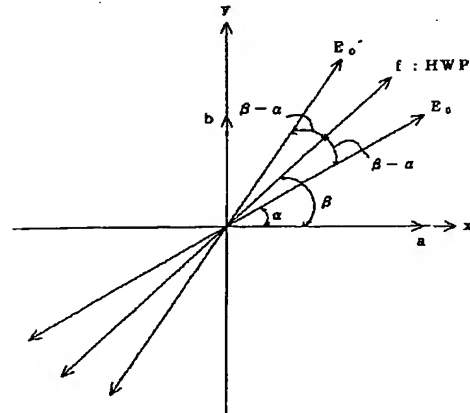
【図3】



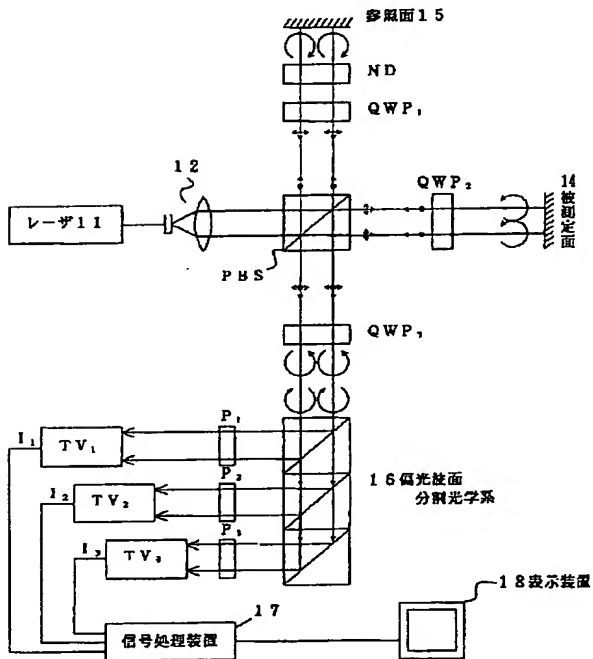
【図2】



【図4】



【図5】



【図6】

